

5/5/1 (Item 1 from file: 351)  
DIALOG(R)File 351:Derwent WPI  
(c) 2004 Thomson Derwent. All rts. reserv.

015082860 \*\*Image available\*\*  
WPI Acc No: 2003-143378/ 200314  
XRPX Acc No: N03-113968

**Optical amplifier for wavelength multiplex optical transmission, has  
erbium-doped optical fibers in different optical paths, to amplify light  
signals of different bands**

Patent Assignee: HOTTA M (HOTT-I); SUDO T (SUDO-I)

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

| Patent No     | Kind | Date     | Applicat No   | Kind | Date     | Week     |
|---------------|------|----------|---------------|------|----------|----------|
| JP 2002319726 | A    | 20021031 | JP 2001123385 | A    | 20010420 | 200314 B |

Priority Applications (No Type Date): JP 2001123385 A 20010420

Patent Details:

| Patent No     | Kind | Lan | Pg | Main IPC    | Filing Notes |
|---------------|------|-----|----|-------------|--------------|
| JP 2002319726 | A    |     | 14 | H01S-003/10 |              |

Abstract (Basic): JP 2002319726 A

NOVELTY - An erbium-doped optical fiber (EDF) (16) amplifies the light signal of band (C) among the combined input signal (SC+SL), and is transmitted in an optical path (36). Another EDF (26) amplifies the light signal of band (L) which is transmitted by a laser diode (18) and fiber grating (22). A circulator combines and outputs the amplified signals.

USE - For wavelength multiplex optical transmission.

ADVANTAGE - Increases the efficiency, gain by decreasing noise exponent, by amplifying the light signal of two bands efficiently.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows an outline block diagram of the optical amplifier. (Drawing includes non-English language text).

Erbium-doped optical fibers (16,26)

Laser diode (18)

Fiber grating (22)

Optical path (36)

pp; 14 DwgNo 1/10

Title Terms: OPTICAL; AMPLIFY; WAVELENGTH; MULTIPLEX; OPTICAL; TRANSMISSION  
; ERBIUM; DOPE; OPTICAL; FIBRE; OPTICAL; PATH; AMPLIFY; LIGHT; SIGNAL;  
BAND

Derwent Class: V07; W02

International Patent Class (Main): H01S-003/10

International Patent Class (Additional): H01S-003/06; H04B-010/02;

H04B-010/16; H04B-010/17; H04B-010/18

File Segment: EPI

5/5/2 (Item 1 from file: 347)  
DIALOG(R)File 347:JAPIO  
(c) 2004 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

07451211 \*\*Image available\*\*  
OPTICAL AMPLIFIER

PUB. NO.: 2002-319726 A]  
PUBLISHED: October 31, 2002 (20021031)  
INVENTOR(s): HOTTA MASAKATSU  
SUDO TOMOMI  
NODA YUKIO  
MIMURA HIDENORI  
APPLICANT(s): HOTTA MASAKATSU  
SUDO TOMOMI  
APPL. NO.: 2001-123385 [JP 2001123385]

FILED: April 20, 2001 (20010420)  
INTL CLASS: H01S-003/10; H01S-003/06; H04B-010/02; H04B-010/16;  
H04B-010/17; H04B-010/18

ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To efficiently amplify a C band and an L band.

SOLUTION: A C-band signal light SC and an L-band signal light SL are input to an input terminal 10. An EDF 16 is excited strongly by an excitation light 20a from an LD 20, the signal light SC is amplified, a C-band ASE light is generated, and the signal light SL is slightly amplified. An optical circulator 18 outputs the light from the EDF 16 to the fiber grating 22 of 90% C-band reflection from a port B. The reflected light of the grating 22 is incident to fiber grating 32 of 100% C-band reflection via the optical circulator 18, an optical fiber 36 and an optical circulator 34, is reflected here, and is arrived at an output terminal 39 via the ports B, C of the circulator 34. An EDF 26 amplifies the signal light SL by the C-band light passed through the grating 22 and an excitation light 38a. The amplified signal light SL reaches an output terminal 39 via a WDM optical coupler 38, an optical isolator 30, the grating 32 and the circulator 34.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-319726  
(P2002-319726A)

(43) 公開日 平成14年10月31日 (2002. 10. 31)

| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号 | F I          | テーマコード* (参考) |
|---------------------------|------|--------------|--------------|
| H 0 1 S 3/10              |      | H 0 1 S 3/10 | Z 5 F 0 7 2  |
| 3/06                      |      | 3/06         | B 5 K 0 0 2  |
| H 0 4 B 10/02             |      | H 0 4 B 9/00 | M            |
| 10/16                     |      |              | J            |
| 10/17                     |      |              |              |

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-123385(P2001-123385)

(22) 出願日 平成13年4月20日 (2001. 4. 20)

(71) 出願人 501432933

堀田 昌克

埼玉県入間郡大井町大井514-5 コスモふ  
じみ野S-717

(71) 出願人 501432922

須藤 智美

埼玉県朝霞市東弁財2丁目12番19号昌和コ  
ーポ408

(72) 発明者 堀田 昌克

埼玉県上福岡市大原2丁目1番15号株式会  
社ケイディディファイパラボ内

(74) 代理人 100090284

弁理士 田中 常雄

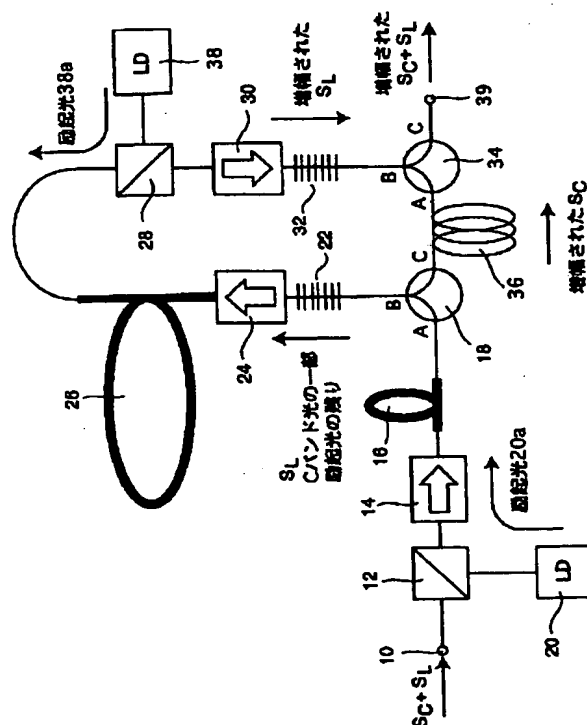
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 CバンドとLバンドを効率良く増幅する。

【解決手段】 Cバンド信号光 $S_C$ とLバンド信号光 $S_L$ が入力端子10に入力する。EDF16は、LD20からの励起光20aにより強く励起されて、信号光 $S_C$ を増幅し、CバンドASE光を発生し、信号光 $S_L$ を僅かに増幅する。光サーキュレータ18はEDF16からの光をポートBから90% Cバンド反射のファイバグレーティング22に出力する。グレーティング22の反射光は、光サーキュレータ18、光ファイバ36及び光サーキュレータ34を介して100% Cバンド反射のファイバグレーティング32に入射し、ここで反射され、光サーキュレータ34のポートB、Cを介して出力端子39に到達する。EDF26は、グレーティング22を透過したCバンド光とLD38からの励起光38aとにより信号光 $S_L$ を増幅する。増幅された信号光 $S_L$ は、WDM光カップラ28、光アイソレータ30、グレーディング32と光サーキュレータ34を介して出力端子39に到達する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 バンド (C) の信号光 (S<sub>C</sub>) と第 2 バンド (L) の信号光 (S<sub>L</sub>) を含む信号光が入力し、当該第 1 バンド (C) の信号光 (S<sub>C</sub>) を増幅する第 1 の光増幅媒体 (16) と、

当該第 1 の光増幅媒体から出力される光の内、当該第 1 バンドの光のほとんどを第 1 の光パス (36) に供給し、残りを第 2 の光パスに供給する分波器 (18, 22) と、

当該第 2 の光パス上にあつて、当該第 2 バンド (L) の信号光 (S<sub>L</sub>) を増幅する第 2 の光増幅媒体 (26) と、

当該第 1 の光パスを伝搬する光と、当該第 2 の光増幅媒体で増幅された当該第 2 バンド (L) の信号光 (S<sub>L</sub>) を合波し、出力端子に供給する合波器 (32, 34) とを具備することを特徴とする光増幅器。

【請求項 2】 当該分波器が、当該第 2 の光パスの入力端に接続し当該第 1 バンドの光を 100%未満の反射率で反射する第 1 反射器 (22) と、当該第 1 の光増幅媒体 (16) から出力される光を当該第 1 反射器 (22) に転送し、当該第 1 反射器 (22) からの光を当該第 1 の光パス (36) に転送する第 1 光サーキュレータ (18) とを具備する請求項 1 に記載の光増幅器。

【請求項 3】 当該合波器が、当該第 2 の光パスの出力端に接続し当該第 1 バンド (C) の光を実質的に 100%反射する第 2 反射器 (32) と、当該第 1 の光パスからの光を当該第 2 反射器 (32) に転送し、当該第 2 反射器 (32) からの光を当該出力端子に転送する第 2 光サーキュレータ (34) とを具備する請求項 1 又は 2 に記載の光増幅器。

【請求項 4】 更に、当該第 1 の光増幅媒体 (16) に第 1 の励起光を供給する第 1 の励起光供給装置 (12, 20) を具備する請求項 1 に記載の光増幅器。

【請求項 5】 当該第 1 の励起光供給装置 (12, 20) は、当該第 1 の光増幅媒体 (16) の全長に亘り当該第 1 の励起光が存在するほどの光パワーで当該第 1 の励起光を出力する請求項 4 に記載の光増幅器。

【請求項 6】 当該第 1 の光増幅媒体 (16) が、当該第 1 の励起光の下で当該第 2 バンド (L) に対して正の利得を具備する請求項 4 に記載の光増幅器。

【請求項 7】 更に、当該第 2 の光増幅媒体 (26) に第 2 の励起光を供給する第 2 の励起光供給装置 (28, 38) を具備する請求項 1 に記載の光増幅器。

【請求項 8】 当該第 1 の光パスが、当該第 2 バンド (L) における当該第 2 の光パスの遅延を補償する光伝送媒体 (36) を具備する請求項 1 に記載の光増幅器。

【請求項 9】 当該第 1 バンドが C バンドであり、当該第 2 バンドが L バンドである請求項 1 に記載の光増幅器。

【請求項 10】 当該第 2 の光増幅媒体がフッ化物フ

イバからなる請求項 9 に記載の光増幅器。

【請求項 11】 第 1 バンド (C) の信号光 (S<sub>C</sub>) と第 2 バンド (L) の信号光 (S<sub>L</sub>) を含む信号光が入力し、当該第 1 バンド (C) の信号光 (S<sub>C</sub>) を増幅する第 1 の光増幅媒体 (16) と、

第 1、第 2、第 3 及び第 4 ポートを具備し、第 1 ポートの入力光を第 2 ポートから出力し、第 2 ポートの入力光を第 3 ポートから出力し、第 3 ポートの入力光を第 4 ポートから出力する光サーキュレータであつて、当該第 1 ポートに当該第 1 の光増幅媒体 (16) からの光が入力する光サーキュレータと、

当該第 2 バンド (L) の信号光 (S<sub>L</sub>) を増幅する第 2 の光増幅媒体 (26) を有する光伝送路と、

当該光伝送路と当該光サーキュレータの第 2 ポートとの間に配置され、第 2 バンドの光を 100%未満の反射率で反射する第 1 反射器 (22) と、

当該光伝送路と当該光サーキュレータの第 3 ポートとの間に配置され、第 2 バンドの信号光を実質的に 100%の反射率で反射する第 2 反射器 (32) とを具備することを特徴とする光増幅器。

【請求項 12】 当該光サーキュレータが、第 1、第 2 及び第 3 ポートを具備し、第 1 ポートの入力光を第 2 ポートから出力し、第 2 ポートの入力光を第 3 ポートから出力する第 2 及び第 3 光サーキュレータからなり、当該第 2 光サーキュレータの第 1 ポートが当該光サーキュレータの第 1 ポートであり、当該第 2 光サーキュレータの第 2 ポートが当該光サーキュレータの第 2 ポートであり、当該第 2 光サーキュレータの第 3 ポートが当該第 3 光サーキュレータの第 1 ポートに接続し、当該第 3 光サーキュレータの第 2 ポートが当該光サーキュレータの第 3 ポートであり、当該第 3 光サーキュレータの第 3 ポートが当該光サーキュレータの第 4 ポートである請求項 11 に記載の光増幅器。

【請求項 13】 更に、当該第 2 光サーキュレータの第 3 ポートと当該第 3 光サーキュレータの第 1 ポートとの間に配置され、当該第 2 バンド (L) における当該光伝送路の遅延を補償する光伝送媒体 (36) を具備する請求項 12 に記載の光増幅器。

【請求項 14】 更に、当該第 1 の光増幅媒体 (16) に第 1 の励起光を供給する第 1 の励起光供給装置 (12, 20) を具備する請求項 11 に記載の光増幅器。

【請求項 15】 当該第 1 の励起光供給装置 (12, 20) は、当該第 1 の光増幅媒体 (16) の全長に亘り当該第 1 の励起光が存在するほどの光パワーで当該第 1 の励起光を出力する請求項 14 に記載の光増幅器。

【請求項 16】 当該第 1 の光増幅媒体 (16) が、当該第 1 の励起光の下で当該第 2 バンド (L) に対して正の利得を具備する請求項 14 に記載の光増幅器。

【請求項 17】 当該第 1 反射器 (22) が、当該第 1 の励起光を透過する請求項 14 に記載の光増幅器。

【請求項18】 更に、当該第2の光増幅媒体(26)に第2の励起光を供給する第2の励起光供給装置(28, 38)を具備する請求項11に記載の光増幅器。

【請求項19】 当該第1バンドがCバンドであり、当該第2バンドがLバンドである請求項11に記載の光増幅器。

【請求項20】 当該第2の光増幅媒体がフッ化物ファイバからなる請求項19に記載の光増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光増幅器に関し、より具体的には、Cバンド及びLバンドのように2つのバンドを光増幅する光増幅器に関する。

【0002】

【従来の技術】波長多重光伝送の分野では、従来のCバンド(1.52~1.57 $\mu$ m帯)に加えて、Lバンド(1.57~1.60 $\mu$ m帯)の利用が検討されている。そのような広帯域光増幅器として、Cバンド光増幅器とLバンド光増幅器を並列に配置する構成が、米国特許第6049417号公報及び第6049418号公報に記載されている。即ち、その広帯域光増幅器では、光サーキュレータ及びCバンドの反射器により、入射光をCバンドとLバンドに分け、それぞれを別個に光増幅した後、光サーキュレータ及びCバンドの反射器により合波する。また、光サーキュレータ及び反射器の代わりに、CバンドとLバンドを分離する分波フィルタを使用する構成も知られている。

【0003】また、Cバンド増幅用のエルビウム添加光ファイバ(EDF)、Cバンドの100%反射器、Lバンド増幅用EDF、及びCバンド及びLバンドの100%反射器をシリアルに配置し、Cバンドの信号光にCバンド増幅用EDFを往復させ、Lバンドの信号光にCバンド増幅用EDF及びLバンド増幅用EDFを往復させるようにした反射型の構成も、知られている(特開2000-58953公報)。

【0004】現在、一般的に使用されているLバンド光増幅器の構成は、EDF長が一桁程度、長いのを除き、Cバンド光増幅器と同じである。すなわち、Lバンド光増幅器は、Cバンドの場合よりも長いEDF、1480nm又は980nm帯励起LD、励起光を合波するためのWDMカップラ、及び戻り光を防ぐための光アイソレータからなる。

【0005】初期には、励起光源として1550nm帯LDを使用するLバンド光増幅器が提案された(例えば、J. F. Massicott, J. Armistage, R. Wyatt, B. J. Ainslie and S. P. Craig-Ryan, "High gain, broadband, 1.6 $\mu$ m Er<sup>3+</sup> doped Silica fiber amplifier", Electron.

Lett., 1990, 26, No. 20, 1645-1646)。

【0006】また、雑音指数を改善する目的で、1550nmと1480nmの2波長で励起する構成も提案された(例えば、J. F. Massicott, R. Wyatt, and B. J. Ainslie, "Low noise operation of Er<sup>3+</sup> doped Silica fiber amplifier around 1.6 $\mu$ m", Electron. Lett., 1992, 28, No. 20, 1924-1925)。

【0007】1550nm帯LDを使用するLバンド光増幅器では、以下の問題点がある。すなわち、1550nm励起は、1480nm又は980nm励起より利得効率が高い反面、雑音指数が大きいという問題がある。コスト及び信頼性の面でも、Cバンド光増幅器の励起光源として普及している1480nm又は980nm帯LDを使う方が有利である。これらの観点から、1550nm帯LDを励起光源とするLバンド光増幅器は、現在では使用されていない。

【0008】2波長励起の構成では、1480nm励起と同程度まで雑音指数を改善できる。しかし、一般に市販されていない1550nmLDが必要なこと、2種類のLDを使用するので構造が複雑化し、高コストになることから、単一波長励起に代わる程のメリットがないと評価され、実用化されていない。

【0009】また、2波長励起の実験は石英EDF(以下、EDSFと称す。)では行われているが、フッ化物EDF(以下EDFFと称す。)では行われていない。フッ化物EDFについては、H. Ono, M. Yamada and Y. Ohishi, "Gain-flattened Er<sup>3+</sup>-doped fiber amplifier for a WDM signal in the 1.57-1.60  $\mu$ m wavelength region", IEEE Photonics Techn. Lett., 1997, 9, No. 5, 596-598、及び、H. Ono, M. Yamada, T. Kanamori, S. Sudo and Y. Ohishi, "1.58 $\mu$ m band fluoride-based Er<sup>3+</sup>-doped fiber amplifier for WDM transmission systems", Electron. Lett., 1997, 33, No. 17, 1471-1472を参照されたい。

【0010】EDFFを使用する場合、帯域が5nm幅がって1565~1600nmとなることが報告されている(H. Ono, M. Yamada, T. Kanamori, S. Sudo and Y. Ohishi, "1.58 $\mu$ m band fluorid

e-based  $\text{Er}^{3+}$ -doped fiber amplifier for WDM transmission systems", Electron. Lett., 1997, 33, No. 17, 1471-1472)。

【0011】980nm励起では、1480nm励起より0.3dB程度、雑音指数が改善し、結果として雑音指数5.0dBを実現したとする報告がある(H. Ono, M. Yamada, S. Sudo and Y. Ohishi, "1.58 $\mu\text{m}$  band  $\text{Er}^{3+}$ -doped fiber amplifier pumped in the 0.98 and 1.48 $\mu\text{m}$  bands", Electron. Lett., 1997, 33, No. 10, 876-877)。

【0012】2段の光増幅器をシリアルに接続して低雑音化及び広帯域化する構成も提案されている。例えば、前段の光増幅器として980nm励起のEDSFを使用し、後段の光増幅器として1480nm励起のEDSFを使用する場合で、ゲイン32.8dB、雑音指数5.0dB及び増幅帯域30nmが実現されている。前段の光増幅器として980nm励起のEDSFを使用し、後段の光増幅器として1480nm励起のEDFFを使用する場合で、ゲイン25.0、雑音指数5.1dB及び増幅帯域35nmが実現されている。また、前段の光増幅器として980nm励起のEDSFを使用し、後段の光増幅器として1480nm励起のEDSFを使用する場合で、各EDSFの長さを最適に調節することにより、ゲイン20dB、雑音指数5dB及び増幅帯域70nmの広帯域増幅器が得られている。例えば、M. Yamada, H. Ono and Y. Ohishi, "low-noise, broadband  $\text{Er}^{3+}$ -doped silica fiber amplifiers", Electron. Lett., 1998, 34, No. 15, 1490-1491を参照されたい。

【0013】更に、光アイソレータを介して2本のEDSFを接続し、その2つのEDSFを双方向励起する構成で、ゲイン30dB、雑音指数6dB以上及び増幅帯域47nmが得られている(H. Sawada, M. Yoshida, K. Imamura and Y. Imada, "Broadband and gain-flattened erbium-doped fiber amplifier with +20 dBm output power for 1580 nm band amplification", ECOC'99, 26-30 September, 1999, Nice, France)。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】Cバンドの光増幅パス

とLバンドの光増幅パスを個別に設ける従来例では、多くの光素子が必要になるだけでなく、装置規模も大きくなってしまふ。それは、CバンドとLバンドの違いがあるものの、各光増幅パス毎に同じ構成の光増幅器を配置する必要があるからである。

【0015】原理的に、Lバンド増幅用のEDFは、Cバンド増幅用のEDFに比べて3乃至4倍、長くする必要がある。それは、Lバンド増幅用EDFでは、0.98 $\mu\text{m}$ 又は1.48 $\mu\text{m}$ 帯の励起光がCバンドを励起し、そのCバンドがLバンドを励起し、その結果としてLバンド信号光が光増幅されるという2段階の励起構造をとるからである。EDFはその構造上、非線形効果、波長分散及び偏波モード分散の何れについて高い値を有するので、伝送特性を悪化させる大きな要因ともなる。この点で、EDFは可能な限り短いのが望ましい。しかし、Cバンドの光増幅パスとLバンドの光増幅パスを個別に設ける従来例では、光増幅ファイバの短縮化は困難である。また、励起効率の改善が難しい。

【0016】Cバンド増幅用EDFとLバンド増幅用EDFをシリアルに配置し、反射式でCバンドとLバンドを光増幅する従来例では、励起光源をCバンド光増幅ファイバとLバンド光増幅ファイバに対して共用できる。しかし、1ライン上に2つの反射器があり、複数の接続点が存在するので、それらの間のラウンドトリップによりレーザ発振が起こりやすい。これは、利得を上げにくいことを意味する。換言すると、信号光が一方方向にのみ進行するワンパス型の光増幅器は、利得を上げてでもレーザ発振しにくいことになり、信頼性が高い。

【0017】反射式の従来例では、少ない部品点数で効率良くCバンド信号光とLバンド信号光の両方を光増幅できる。しかし、Lバンド光増幅器は、Cバンド光増幅器に比べて、利得が小さく、雑音指数が大きい。実際に使用するには、励起効率及び利得を増大し、増幅帯域を広くし、雑音指数を低減することが望まれる。

【0018】本発明は、より少ない部品点数で実現できる広帯域の光増幅器を提示することを目的とする。

【0019】本発明はまた、より高い効率でCバンド及びLバンドを増幅できる光増幅器を提示することを目的とする。

【0020】本発明はまた、高利得・低雑音・広増幅帯域の広帯域光増幅器を提示することを目的とする。

【0021】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光増幅器は、第1バンドの信号光と第2バンドの信号光を含む信号光が入力し、当該第1バンドの信号光を増幅する第1の光増幅媒体と、当該第1の光増幅媒体から出力される光の内、当該第1バンドの光のほとんどを第1の光パスに供給し、残りを第2の光パスに供給する分波器と、当該第2の光パス上にあつて、当該第2バンドの信号光を増幅する第2の光増幅媒体と、当該第1の光パスを伝搬

する光と、当該第2の光増幅媒体で増幅された当該第2バンドの信号光を合波し、出力端子に供給する合波器とを具備することを特徴とする。

【0022】このような構成により、第1の光増幅媒体は、第1バンドの光を低雑音で光増幅する。分波器は、第1の光増幅媒体から出力される第1バンド光の一部を第2の光増幅媒体に供給する。第2の光増幅媒体は、この第1バンド光の一部を補助光とすることにより、第2バンドの信号光を低雑音で増幅する。このようにして、低雑音で第1バンドの信号光及び第2バンドの信号光を増幅できる。

【0023】好ましくは、当該分波器が、当該第2の光パスの入力端に接続し当該第1バンドの光を100%未満の反射率で反射する第1反射器と、当該第1の光増幅媒体から出力される光を当該第1反射器に転送し、当該第1反射器からの光を当該第1の光パスに転送する第1光サーキュレータとを具備する。これにより、簡単な構成で、当該第1の光増幅媒体から出力される光の内、当該第1バンドの光のほとんどを第1の光パスに供給でき、残りを第2の光パスに供給できる。

【0024】好ましくは、当該合波器が、当該第2の光パスの出力端に接続し当該第1バンドの光を実質的に100%反射する第2反射器と、当該第1の光パスからの光を当該第2反射器に転送し、当該第2反射器からの光を当該出力端子に転送する第2光サーキュレータとを具備する。これにより、簡単な構成で、増幅された第1バンド及び第2バンドの信号光を合波できる。

【0025】本発明に係る光増幅器は更に、当該第1の光増幅媒体に第1の励起光を供給する第1の励起光供給装置を具備する。第1の励起光は、好ましくは、当該第1の光増幅媒体に前方から供給される。これにより、低雑音で第1バンドの信号光を増幅できる。

【0026】好ましくは、当該第1の励起光供給装置は、当該第1の光増幅媒体の全長に亘り当該第1の励起光が存在するほどの光パワーで当該第1の励起光を出力する。これにより、第1の光増幅媒体は、第2バンドの信号光を低ロス又は正の利得で透過する。

【0027】好ましくは、当該第1の光増幅媒体が、当該第1の励起光の下で当該第2バンド(L)に対して正の利得を具備する。これにより、全体としての第2バンドの利得特性で低雑音及び広帯域を実現できる。

【0028】本発明に係る光増幅器は更に、当該第2の光増幅媒体に第2の励起光を供給する第2の励起光供給装置を具備する。これにより、第2バンドの多くの信号光を増幅できる。

【0029】当該第1の光パスが、当該第2バンドにおける当該第2の光パスの遅延を補償する光伝送媒体を具備することで、第1パスを透過する第2バンド成分が存在する場合でも、第2バンドの良好な増幅特性を得ることができ。

【0030】例えば、当該第1バンドがCバンドであり、当該第2バンドがLバンドである。この場合、第2の光増幅媒体がフッ化物ファイバからなるのが好ましい。これにより、短い光ファイバでLバンド増幅の高い利得が得られる。

【0031】本発明に係る光増幅器はまた、第1バンドの信号光と第2バンドの信号光を含む信号光が入力し、当該第1バンドの信号光を増幅する第1の光増幅媒体と、第1、第2、第3及び第4ポートを具備し、第1ポートの入力光を第2ポートから出力し、第2ポートの入力光を第3ポートから出力し、第3ポートの入力光を第4ポートから出力する光サーキュレータであって、当該第1ポートに当該第1の光増幅媒体からの光が入力する光サーキュレータと、当該第2バンドの信号光を増幅する第2の光増幅媒体を有する光伝送路と、当該光伝送路と当該光サーキュレータの第2ポートとの間に配置され、第2バンドの光を100%未満の反射率で反射する第1反射器と、当該光伝送路と当該光サーキュレータの第3ポートとの間に配置され、第2バンドの信号光を実質的に100%の反射率で反射する第2反射器とを具備することを特徴とする。

【0032】このような構成により、第1の光増幅媒体は、第1バンドの光を低雑音で光増幅し、第2の光増幅媒体は、この第1バンド光の一部を補助光とすることにより、第2バンドの信号光を低雑音で増幅する。この結果、低雑音で第1バンドの信号光及び第2バンドの信号光を増幅できる。

【0033】好ましくは、当該光サーキュレータが、第1、第2及び第3ポートを具備し、第1ポートの入力光を第2ポートから出力し、第2ポートの入力光を第3ポートから出力する第2及び第3光サーキュレータからなり、当該第2光サーキュレータの第1ポートが当該光サーキュレータの第1ポートであり、当該第2光サーキュレータの第2ポートが当該光サーキュレータの第2ポートであり、当該第2光サーキュレータの第3ポートが当該第3光サーキュレータの第1ポートに接続し、当該第3光サーキュレータの第2ポートが当該光サーキュレータの第3ポートであり、当該第3光サーキュレータの第3ポートが当該光サーキュレータの第4ポートである。

【0034】本発明に係る光増幅器は更に、当該第2光サーキュレータの第3ポートと当該第3光サーキュレータの第1ポートとの間に配置され、当該第2バンド

(L)における当該光伝送路の遅延を補償する光伝送媒体(36)を具備する。これにより、当該第2光サーキュレータの第3ポートと当該第3光サーキュレータの第1ポートとの間を第2バンド成分が伝送する場合でも、第2バンドの良好な増幅特性を得ることができ。

【0035】本発明に係る光増幅器は更に、当該第1の光増幅媒体に第1の励起光を供給する第1の励起光供給装置を具備する。第1の励起光は、好ましくは、当該第

1の光増幅媒体に前方から供給される。これにより、低雑音で第1バンドの信号光を増幅できる。

【0036】好ましくは、当該第1の励起光供給装置は、当該第1の光増幅媒体の全長に亘り当該第1の励起光が存在するほどの光パワーで当該第1の励起光を出力する。これにより、第1の光増幅媒体は、第2バンドの信号光を低ロス又は正の利得で透過する。

【0037】好ましくは、当該第1の光増幅媒体が、当該第1の励起光の下で当該第2バンド(L)に対して正の利得を具備する。これにより、全体としての第2バンドの利得特性で低雑音及び広帯域を実現できる。

【0038】好ましくは、当該第1反射器が、当該第1の励起光を透過する。これにより、第1の励起光の余りを第2の光増幅媒体の励起に利用でき、全体の励起効率が向上する。

【0039】本発明に係る光増幅器は更に、当該第2の光増幅媒体に第2の励起光を供給する第2の励起光供給装置を具備する。これにより、第2バンドの多くの信号光を増幅できる。

【0040】例えば、当該第1バンドがCバンドであり、当該第2バンドがLバンドである。この場合、第2の光増幅媒体がフッ化物ファイバからなるのが好ましい。これにより、短い光ファイバでLバンド増幅の高い利得が得られる。

【0041】

【実施例】以下、図面を参照して、本発明の実施例を詳細に説明する。

【0042】図1は、本発明の一実施例の概略構成ブロック図を示す。光増幅すべきCバンドの信号光 $S_C$ 及びLバンドの信号光 $S_L$ が、入力端子10に入力する。入力端子10はWDM光カップラ12、光アイソレータ14、Cバンド増幅用のエルビウム添加光ファイバ(EDF)16を介して光サーキュレータ18のポートAに接続する。光サーキュレータ18は3ポートA、B、Cを具備し、ポートAの入力光をポートBから出力し、ポートBの入力光をポートCから出力する光素子である。

【0043】光アイソレータ14は、EDF16からWDM光カップラ12に向かう光を阻止する方向で配置されている。

【0044】レーザダイオード(LD)20は、EDF16を励起してCバンド光を増幅させる励起光20aを発生し、WDM光カップラ12に供給する。EDF16は、その長さ及びエルビウム添加量が、Cバンド信号光 $S_C$ を増幅するのに適したものに調節されている。

【0045】光サーキュレータ18のポートBは、Cバンドを100%未満の反射率で反射するファイバグレーティング22、光アイソレータ24、Lバンド増幅用EDF26、WDM光カップラ28、光アイソレータ30及びCバンド信号光を反射する反射率100%のファイバグレーティング32を介して、光サーキュレータ34

のポートBに接続する。光サーキュレータ34は光サーキュレータ18と同じ機能の光素子である。光サーキュレータ18のポートCと光サーキュレータ34のポートAの間に、位相調整用のファイバ36が接続する。

【0046】光アイソレータ24、30は、不要なレーザ発振を防ぐために、光サーキュレータ34のポートBから光サーキュレータ18のポートBに向かう方向の光を阻止する方向で配置されている。

【0047】レーザダイオード(LD)38は、EDF26を励起してLバンド光を増幅させる励起光38aを発生し、WDM光カップラ28に供給する。WDM光カップラ28は、LD38からの励起光38aを、信号光 $S_L$ の伝搬方向とは逆方向でEDF26に供給する。EDF26は、その長さ及びエルビウム添加量が、Lバンド信号光 $S_L$ を増幅するのに適したものに調節されている。

【0048】光サーキュレータ34のポートCは出力端子39に接続する。本実施例により増幅された信号光 $S_C$ 、 $S_L$ は、光サーキュレータ34のポートC、即ち、出力端子39から出力される。

【0049】レーザダイオード20の出力パワーは、EDF16が吸収しきれない程に大きく、換言すると、励起光20aがEDF16の全域にわたって十分な強さで存在するように、設定されている。詳細は後述するが、EDF16で吸収されなかった励起光成分は、光サーキュレータ18、ファイバグレーティング22及び光アイソレータ24を介してEDF26に入射する。また、EDF16はLD20からの励起光20aによりCバンドASE光を発生する。このCバンドASE光も、光サーキュレータ18、ファイバグレーティング22及び光アイソレータ24を介してEDF26に入射する。これらの、LD20の出力する励起光20aとEDF16で発生するCバンドASE光が、EDF26におけるLバンド増幅を補助し、Lバンド増幅利得の向上及び/又はノイズ指数の低減に役立つ。EDF14で発生するCバンドASE光をEDF26に導入するために、ファイバグレーティング22のCバンド反射率を100%未満とする。実験では、ファイバグレーティング22のCバンド反射率を90%程度としても、良好な結果が得られた。

【0050】LD20の出力波長は、EDF16のベースとなる光ファイバが石英ファイバの場合、980nm又は1480nmであり、フッ化物光ファイバである場合、1480nmである。同様に、LD38の出力波長は、EDF26のベースとなる光ファイバが石英ファイバの場合、980nm又は1480nmであり、フッ化物光ファイバである場合、1480nmである。

【0051】本実施例におけるCバンド信号光 $S_C$ の増幅動作を説明する。信号光 $S_C$ は入力端子10からWDM光カップラ12に入射する。WDM光カップラ12は、LD20から出力される励起光20aを入力端子1



0からの信号光 $S_C$ に合波し、その合波光を光アイソレータ14を介してEDF16に供給する。EDF16は、LD20からの励起光20aにより励起されて、信号光 $S_C$ を光増幅する。その際、EDF16はCバンドのASE光を発生する。LD20の出力パワーは、EDF16で吸収し切れない程に大きく設定されているので、EDF16は、光増幅した信号光 $S_C$ と、CバンドASE光と、吸収しきれなかった励起光20aを光サーキュレータ18のポートAに供給する。

【0052】光サーキュレータ18は、EDF16からポートAに入力する光をポートBから出力するので、EDF16から出力される信号光 $S_C$ 、CバンドASE光及び励起光20aは、ファイバグレーティング22に入射する。ファイバグレーティング22のCバンド反射率は100%未満、好ましくは90%程度であるので、ファイバグレーティング22は、信号光 $S_C$ 及びCバンドASE光のほとんどを光サーキュレータ18のポートBに向けて反射し、信号光 $S_C$ 及びCバンドASE光の残り励起光20aを光アイソレータ24に供給する。

【0053】ファイバグレーティング22で反射された信号光 $S_C$ 及びCバンドASE光は、光サーキュレータ18のポートBからポートCに転送され、光ファイバ36を介して光サーキュレータ34のポートAに入射する。ここでのCバンドASE光は、信号光 $S_C$ にとって雑音光となる。光サーキュレータ34は、ポートAに入力する信号光 $S_C$ 及びCバンドASE光をポートBからファイバグレーティング32に供給する。ファイバグレーティング32はCバンドに対して100%反射率を具備するので、その信号光 $S_C$ 及びCバンドASE光は、再び光サーキュレータ34のポートBに戻り、ポートCから出力端子39に供給される。

【0054】本実施例におけるLバンド信号光 $S_L$ の増幅動作を説明する。信号光 $S_L$ は入力端子10からWDM光カップラ12、光アイソレータ14及びEDF16を介して、光サーキュレータ18のポートAに入力する。LD20からの励起光20aがEDF16の全域にわたり存在する程に強いものである場合、EDF16は、後述するように、Lバンド信号光 $S_L$ を僅かに増幅する。EDF16は、Lバンド信号光 $S_L$ を減衰させなければよいが、後述するように、Lバンド信号光 $S_L$ を僅かに増幅することで、Lバンド増幅の雑音指数を低減できる。

【0055】先に述べたように、光サーキュレータ18は、EDF16からポートAに入力する光をポートBから出力するので、信号光 $S_L$ は、光サーキュレータ18のポートBからファイバグレーティング22に入射する。ファイバグレーティング22はCバンドを反射するように設計されているが、Lバンドの一部を僅かに反射する。図2は、ファイバグレーティング22の反射特性を示す。CバンドとLバンドが十分に離れている場合、

例えば、10nm程度、離れている場合には、このようなファイバグレーティング22の反射特性のすそ部分は影響無いが、CバンドとLバンドの間隔が2nm程度と非常に少なく、CバンドとLバンドが実質的に連続しているような場合には、ファイバグレーティング22の反射特性のすそ部分がLバンド信号光 $S_L$ にも影響する。光ファイバ36は、この影響を軽減するために設けられている。

【0056】従って、光サーキュレータ18のポートBから出力されるLバンド信号光 $S_L$ は、ファイバグレーティング22及び光アイソレータ24を透過し、EDF26に入射する。先に説明したように、EDF16で増幅されたCバンド信号光 $S_C$ の一部、EDF14で生成されるCバンドASE光の一部及び励起光20aの残りが、ファイバグレーティング22を透過し、光アイソレータ24を介してEDF26に入射する。EDF26は、これら、Cバンド信号光 $S_C$ 及びCバンドASE光補助の下で励起光38aにより励起されて、効率的にLバンド信号光 $S_L$ を増幅する。励起光20aの波長とEDF26の組成によっては、励起光20aも、EDF26におけるLバンド信号光 $S_L$ の励起光となりうる。Lバンド増幅の補助光としてEDF26が必要とするCバンド光のパワーは、後述するように、-30dBm以上、せいぜい-1dBmでよいので、ファイバグレーティング22のCバンド反射率は90%程度でよい。補助光として弱いCバンド光をEDF26に入力することにより、EDF26のLバンド増幅で、広帯域、高利得及び低雑音を達成できる。

【0057】EDF26はLバンド信号光 $S_L$ を増幅する過程でCバンドASE光を発生する。EDF26で発生するCバンドASE光と、EDF26で増幅されたLバンド信号光 $S_L$ は、WDM光カップラ28及び光アイソレータ30を無損失又は低損失で透過し、ファイバグレーティング32に入射する。ファイバグレーティング32はCバンド光を100%反射するので、増幅されたLバンド信号光 $S_L$ のみを透過し、CバンドASE光を反射する。反射されたCバンドASE光は光アイソレータ30で吸収又は外部に放出される。

【0058】ファイバグレーティング32を透過した増幅されたLバンド信号光 $S_L$ は光アイソレータ34のポートBに入射し、そのポートCから出力端子39に出力される。

【0059】ファイバグレーティング22で僅かに反射されたLバンド信号光 $S_L$ は、光サーキュレータ18のポートB、C、光ファイバ36、及び光サーキュレータ34のポートA、Bを介してファイバグレーティング32に入射する。反射率が異なるものの、ファイバグレーティング32の反射特性は、Lバンド帯に延びているので、光サーキュレータ34のポートBから出力されるLバンド信号光 $S_L$ の一部がファイバグレーティング32

で反射され、再び光サーキュレータ 34 のポート B に入射し、ポート C から出力端子 39 に供給される。

【0060】このようにして、出力端子 39 から外部に、EDF 14 で光増幅された C バンド信号光  $S_C$  と、EDF 26 で光増幅された L バンド信号光  $S_L$  が出力される。

【0061】C バンドに近い L バンド信号成分は、そのほとんどが、EDF 26 を経由するものの、極く一部が光ファイバ 36 を経由する。これは、図 2 に示すように、ファイバグレーティング 22 の反射特性の遮断性能が悪いからである。本実施例では、2 つの光パスの光路差を補償するために、光サーキュレータ 18 のポート C と光サーキュレータ 34 のポート A の間に、両パスの L バンド光の光路長を一致させる光ファイバ 36 を接続している。従って、ファイバグレーティング 22、32 の反射特性のすそ引きが気にならないほど、C バンドと L バンドが離れている場合、又は、ファイバグレーティング 22、32 の代わりに十分に急峻な遮断性能の反射特性を有する反射器を使用できる場合には、光サーキュレータ 18 のポート C を光サーキュレータのポート A に直接、接続できる。この場合、2 つの 3 ポート光サーキュレータ 18、34 の代わりに、1 つの 4 ポート光サーキュレータを使用できる。

【0062】本出願の発明者は、C バンド増幅に適した短い EDF でも、十分に強い励起光を入力した場合には、L バンドでの光増幅が生じ得ること、及び、L バンド増幅には、C バンド光をシード光又は補助光として EDF に入力するのが有益であることを発見した。その内容を簡単に説明する。

【0063】L バンド増幅のメカニズムは、図 3 に示すように、 $1.48\mu\text{m}$  又は  $0.98\mu\text{m}$  励起によって発生する  $1.5\mu\text{m}$  帯 ASE 光を再吸収することにより、L バンドに対応する反転分布が形成されるからであると考えられている。L バンド増幅用 EDF は、長尺（例えば  $150\text{m}$ ）であり、吸収係数の大きな波長の光は入射後に急速に減衰する。長尺の EDF の吸収波長特性から、 $1.5\mu\text{m}$  帯 ASE 光の再吸収が L バンドの増幅をもたらすと考えられる。しかし、このメカニズムでは、L バンド帯に対し十分な反転分布が形成されないため、雑音が大きくなる。

【0064】これに対し、励起光強度を十分大きくして観測した結果、図 4 に示すように、C バンド増幅と同様に、励起光の直接励起により、L バンド増幅が生じていることを確認した。このメカニズムでは、C バンド増幅器に劣らない雑音で L バンド増幅を実現できる可能性がある。具体的に、EDF 全長に亘って励起レーザ光が十分に強い  $15\text{m}$  長の EDF と、励起レーザ光が途中で減衰消失してしまう  $150\text{m}$  長の EDF について、ゲインと雑音指数の違いを調べた。図 5 は、その測定結果を示す。縦軸は利得及び雑音指数であり、横軸は波長を示

す。使用した EDF は石英ファイバに  $E_r$  を  $1000\text{ppm}$  ドープしたものである。短尺（ $15\text{m}$ ）の EDF については、励起レーザ光ができるだけ長い距離、伝搬するように、コア径を小さくし、MFD とコア径の比を大きく設計した。コア径が小さいと、コア内の吸収体も少なくなり、励起光の吸収が飽和しやすくなる。その結果、励起光が遠くまで伝搬できる。

【0065】実験例では、コア径  $2.4\mu\text{m}$  の  $15\text{m}$  EDF を使用した。その EDF の  $1480\text{nm}$  における MFD/コア径比は  $1.93$  である。励起光の波長を  $1480\text{nm}$  とした。  $15\text{m}$  長 EDF に対し、入射励起パワーを  $80\text{mW}$ 、出射励起パワーを  $48\text{mW}$  とした。  $150\text{m}$  長 EDF に対し、入射励起パワーを  $190\text{mW}$ 、出射励起パワーを  $0\text{mW}$  とした。即ち、  $15\text{m}$  長 EDF では、その全長が  $48\text{mW}$  以上で強く励起されており、一方、  $150\text{m}$  長 EDF では、  $1480\text{nm}$  光は途中で減衰消失するようになっている。

【0066】図 5 から分かるように、  $15\text{m}$  長 EDF では、  $1480\text{nm}$  励起にもかかわらず、  $1540\text{nm}$  から  $1620\text{nm}$  の広い波長範囲に亘り  $5\text{dB}$  を切る低雑音が得られた。また、C バンドとの比較では、小さいながら、  $1625\text{nm}$  以下の波長でゲインがプラスである。すなわち、  $1480\text{nm}$  励起であっても、 EDF の全長に亘って強く励起すれば、  $5\text{dB}$  以下の低雑音で、L バンドのプラスゲインが得られている。一方、  $150\text{m}$  長 EDF では、ゲインは大きい、雑音指数も  $6\text{dB}$  以上と大きくなる。これは、励起光が消失するほどに長い EDF では、図 3 に示す L バンド増幅のメカニズムが機能するからであると思われる。

【0067】このような測定結果に基づき、本実施例では、LD 20 の出力パワーを EDF 16 の全域にわたって、励起光が存在し得る程度以上に強くした。これにより、EDF 16 は、L バンド信号光に対してプラスのゲインを具備すると共に、低雑音（ $5\text{dB}$  以下の雑音）となる。EDF 16 で吸収されなかった励起光成分は、光アイソレータ 18、ファイバグレーティング 22 及び光アイソレータ 24 を通過して、EDF 26 に入射し、ここで吸収されて L バンド信号光の増幅のための励起光として利用される。

【0068】また、EDF 14 が発生する  $-30\text{dBm}$  以上の C バンド ASE 光を EDF 26 に導入するのが、EDF 26 における L バンド増幅利得の増加と雑音の低下に有効である。L バンドの利得係数は C バンドのそれより低い。低ゲインであることが高雑音の一因になっている。L バンド増幅の主要メカニズムが図 3 に示すように  $1.55\mu\text{m}$  帯 ASE 光の再吸収によるものであれば、  $1.55\mu\text{m}$  帯 ASE 光をより効率的に発光させればよい。そうすれば、励起効率が向上し、それがゲインを増大させると共に雑音を少なくする。  $1.55\mu\text{m}$  帯光をより効率的に発光させるためには、発光のための刺

激として外部から1.55 $\mu$ m帯光を導入すればよい。

【0069】外部から導入する光の波長に対する利得の依存性を調べた。図6は、その測定結果を示す。横軸は波長、縦軸は利得を示す。25m長の、エルビウムを添加したフッ化物ファイバを使用し、励起波長を1480nmとした。励起光と一緒に入射するCバンド光の波長として1530nm、1540nm、1545nm、1550nm、及び1560nmの各場合についての利得特性と、比較のために、励起光のみの利得特性を測定した。図6から容易に理解できるように、何れの波長でも、Cバンドの補助光を外部から入射することで利得が増大している。特に、波長1530nm～1550nmが、利得の増大に有効である。

【0070】EDFの基本組成の相違、具体的には、エルビウム添加フッ化物光ファイバ(EDFF)とエルビウム添加石英光ファイバ(EDSF)の相違を確認した。図7は、EDFFを使用した場合の、雑音指数NFと利得を示す。図8は、EDSFを使用した場合の、雑音指数NFと利得を示す。何れも、波長1540nmの光を補助光としてEDFに入射した。比較のため、補助光を入射しない場合の測定結果を破線で図示してある。図7及び図8において、縦軸は利得及び雑音指数NFを示し、横軸は波長を示す。

【0071】図7で、特性曲線40は、Cバンド補助光を入射した場合の利得特性を示し、特性曲線42は、Cバンド補助光を入射した場合の雑音指数を示す。また、特性曲線44は、Cバンド補助光を入射しない場合の利得特性を示し、特性曲線46は、Cバンド補助光を入射しない場合の雑音指数を示す。図7から、Cバンド補助光を入射する場合、Cバンド補助光を入射しない場合に比べて、利得が大幅に増加し、雑音指数は、1560～1570nmの波長域で増大するものの、Lバンドである1570～1600nmの波長域では、ほとんど異ならないことが分かる。

【0072】図8で、特性曲線50は、Cバンド補助光を入射する場合の利得特性を示し、特性曲線52は、Cバンド補助光を入射する場合の雑音指数を示す。また、特性曲線54は、Cバンド補助光を入射しない場合の利得特性を示し、特性曲線56は、Cバンド補助光を入射しない場合の雑音指数を示す。図8から、Cバンド補助光を入射する場合、Cバンド補助光を入射しない場合に比べて、利得及び雑音指数が共に、改善されることが分かる。

【0073】EDFFとEDSFを比較すると、次のようなことがいえる。即ち、EDSFを使用する場合、Cバンド補助光の存在下でも、1580nm以下の短波長域で雑音指数が増加するので、利得が向上しても、増幅帯域を1570nm以下に拡張することが難しい。一方、EDFFを使用する場合、1570nm～1600nmの範囲で雑音指数の顕著な増加が無い。従って、1

560～1570nmにおける雑音増加を抑制できれば、1560～1600nmの広帯域Lバンド増幅器を実現できる可能性がある。従って、EDF26としては、フッ化物光ファイバをベースとするものが好ましい。

【0074】EDFFを使用する場合で、1560～1570nmで雑音指数が増加する要因を調べたところ、それは、目的の波長帯を抽出する光フィルタの特性が不十分であり、中心波長からずれた1550～1570nmにも無視できない強さの光が存在したせいであった。

【0075】補助光として必要なパワーを測定した。その測定結果を図9に示す。補助光の波長は1545nmである。補助光パワーが-30dBmというごく低いパワーのときでも、利得増大効果を確認できた。補助光パワーが-1dBm以上では、利得増大効果が飽和する。即ち、-1dBmという低パワーでも、最大限の効果が得られる。

【0076】EDF26は、EDF16で生成されるCバンドASE光による誘導放出光によってCバンドASE光を効率よく発生する。すなわち、EDF26は、LD38の出力する励起光38aと、EDF16の発生するCバンドASE光からなる2波長により励起されることになる。2波長励起によって発生するCバンドASE光の再吸収により、EDF26は、Lバンドの信号光を高い利得及び低雑音で光増幅する。ファイバグレーティング22が励起光20aを無損失又は低損失で透過できる場合、EDF16で吸収されなかった励起光20aの成分を、EDF26の励起に利用できる。これもまた、励起効率の改善に寄与する。

【0077】光サーキュレータ18及びファイバグレーティング22からなる部分は、基本的にCバンド信号光SCとLバンド信号光SLを分離する波長分波器として機能する。但し、本実施例では、特に、Cバンド成分(Cバンド信号光SC及びEDF14で発生するCバンドASE光)の一部をLバンド信号光SLの出力側に意図的にリークさせている点が、通常の波長分波器とは異なる。

【0078】ファイバグレーティング22の反射率を波長に対して所望形状で変化させることは容易である。EDF16のCバンド利得が波長依存性を有する場合、その波長依存性を平坦化するように、ファイバグレーティング22の反射率の波長依存性を設定することで、Cバンド内の複数の信号光に対して一定の利得の増幅特性を得ることができる。

【0079】更に、ファイバグレーティングは、光軸方向のグレーティング・ピッチを調節することにより、Cバンド内で波長分割多重されている複数の信号光のそれぞれのみを反射し、隣接信号光間のASE光をほぼ100%透過するようにできる。ファイバグレーティング22としてそのようなファイバグレーティングを使用する

ことにより、Cバンドの増幅された信号光 $S_C$ を高い $S_N$ 比で取り出すことができる。上述したように、EDF 26におけるLバンド増幅性能を向上するには、CバンドASE光のみで十分であり、Cバンド信号光は無くても良い。

【0080】ファイバグレーティング32及び光サーキュレータ34からなる部分は、光増幅されたCバンド信号光 $S_C$ と光増幅されたLバンド信号光 $S_L$ を合波する合波器として機能する。従って、ファイバグレーティング32及び光サーキュレータ34の部分を、より単純な構成の光カップラ又はWDM光カップラで代替できることは明らかである。

【0081】LD20, 38の代わりに、単一のLDの出力光又は複数のLDの出力光を合波した光を2分割し、それぞれWDM光カップラ12, 38に供給する構成を採用することができる。勿論、各LDの発振波長は、励起対象のEDFに応じたものでなければならない。

【0082】図1に示す実施例では、EDF 26の励起光を後方から導入している。図1に示す実施例とは異なり、EDF 26を前方から励起してもよい。その場合、LD38の出力する励起光をEDF 26に導入するためのWDM光カップラがEDF 26と光アイソレータ24の間に配置されるので、励起効率の点で、励起光20aは、そのWDM光カップラを通過できるのが好ましいものの、励起光20aの波長とそのWDM光カップラの透過特性が制限される。図1に示す実施例では、そのような制限が生じない。

【0083】EDF 26に入射する励起光20aが、Lバンド増幅に十分なパワーを具備する場合、WDM光カップラ28及びLD38は省略できる。この構成は、Lバンドに含まれる信号光数が少ない場合に有効である。

【0084】EDF 16を後方からも励起する双方向励起状態にしたい場合には、例えば、3ポートの光サーキュレータ18の代わりに4ポートの光サーキュレータを配置し、その第4のポートに第3の励起光を入力すればよい。

【0085】光サーキュレータ18及び34の部分を4ポートの光サーキュレータで代替できる。この場合には、Lバンド信号光 $S_L$ の遅延を補償する光ファイバ36を配置できず、Lバンド信号光 $S_L$ の挿入損失が僅かに増加するが、Cバンド信号光 $S_C$ の挿入損失が少なくなる。総合的には、Lバンドの挿入損失の増加よりも、Cバンド信号光 $S_C$ の挿入損失の減少が大きい。従って、Cバンド信号光 $S_C$ の挿入損失を低減できるメリットが、Lバンド信号光に対するデメリットを上回る。

【0086】図10は、そのような変更実施例の概略構成ブロック図を示す。図1と同じ構成要素には同じ符号を付してある。60は、光サーキュレータ18及び34の部分を代替する4ポートA, B, C, Dの光サーキュ

レータである。すなわち、光サーキュレータ60のポートAにEDF 16が接続し、ポートBにファイバグレーティング22が接続し、ポートCにファイバグレーティング32が接続する。光サーキュレータ60のポートDは、光アイソレータ62を介して出力端子64に接続する。光アイソレータ62は、光サーキュレータ60のポートDから出力される光を出力端子64に通す方向に配置される。

【0087】図10に示す構成では、光サーキュレータ60は、EDF 16からポートAに入力する光をポートBからファイバグレーティング22に供給する。ファイバグレーティング22で反射されたCバンド成分は、再び光サーキュレータ60のポートBに入力し、ポートCからファイバグレーティング32に向けて出力される。ファイバグレーティング32は、光サーキュレータ60のポートCからのCバンド光を全反射する。ファイバグレーティング32で反射されたCバンド光は、再び光サーキュレータ60のポートCに入射する。

【0088】ファイバグレーティング22は、光サーキュレータ60のポートBからの光の内、Lバンド信号光 $S_L$ 、Cバンド信号光 $S_C$ の一部、EDF 16で発生するCバンドASE光の一部及び励起光20aを透過する。その透過光は、光アイソレータ24を介してEDF 26に入力する。EDF 26は図1に示す実施例と同様の作用でLバンド信号光 $S_L$ を増幅する。EDF 26で増幅されたLバンド信号光 $S_L$ は、WDM光カップラ28、光アイソレータ30及びファイバグレーティング32を透過して光サーキュレータ60のポートCに入力する。

【0089】このように、光サーキュレータ60のポートCに、EDF 14で増幅されたCバンド信号光 $S_C$ とEDF 26で増幅されたLバンド信号光 $S_L$ が入力する。光サーキュレータ60はポートCの入力光をポートDから出力する。従って、増幅されたCバンド信号光 $S_C$ 及びLバンド信号光 $S_L$ が、光アイソレータ62を介して出力端子64に供給される。

【0090】光サーキュレータ60がポートDの入力光をポートAに転送する機能を具備する場合、光サーキュレータ60のポートDにEDF 16の励起光を入力しても良い。そのためには、光サーキュレータ60のポートDと光アイソレータ62の間に、励起光を光サーキュレータ60のポートDに供給するWDM光カップラを配置する。

【0091】添加材としてエルビウムを使用する実施例を説明したが、勿論、その他の希土類金属を添加してもよい。

【0092】

【発明の効果】以上の説明から容易に理解できるように、本発明によれば、簡単な構成で2つのバンドの信号光を効率良く光増幅できる。しかも、高効率、高利得及

20 a : 励起光

24 : 光アイソレータ

26:エルビウム添加光ファイバ (EDF)

28 : WDM光カップラ

30 : 光アイソレータ

### 32:ファイバグレーティング

10 34 : 光サーキュレータ

36 : 光ファイバ

38 : レーザダイオード

38 a : 励起光

3 9 : 出力端子

#### 40 : Cバンド補助光が入力する場合の利得特性

#### 4 2 : Cバンド補助光が入力する場合の雑音指数

#### 4 4 : Cバンド補助光が入力しない場合の利得特性

#### 4 6 : Cバンド補助光が入力しない場合の雑音指数

## 50 : Cバンド補助光が入力する場合の利得特性

## 5.2 : Cバンド補助光が入力する場合の雑音指数

#### 54 : Cバンド補助光が入力しない場合の利得特性

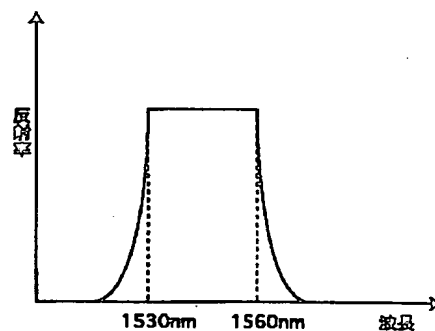
### 56 : Cバンド補助光が入力しない場合の雑音指数

60: 光サーキュレータ

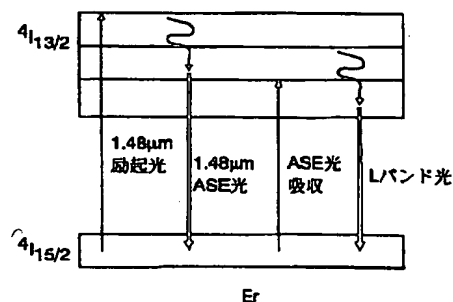
62: 光アイソレータ

6 4 : 出力端子

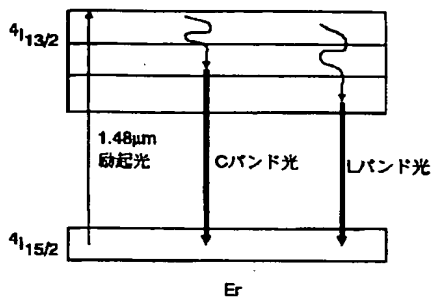
【图 2】



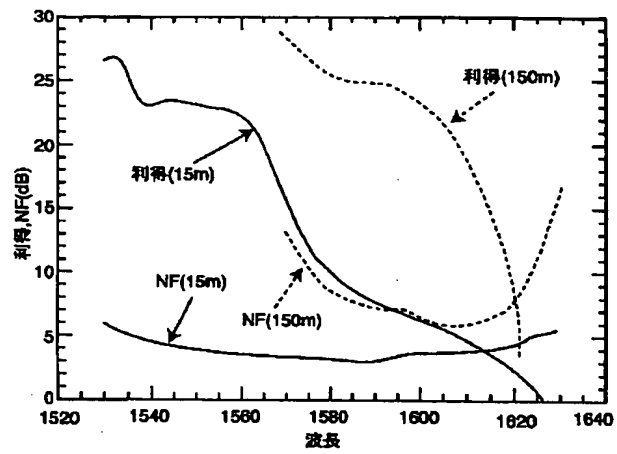
【图 3】



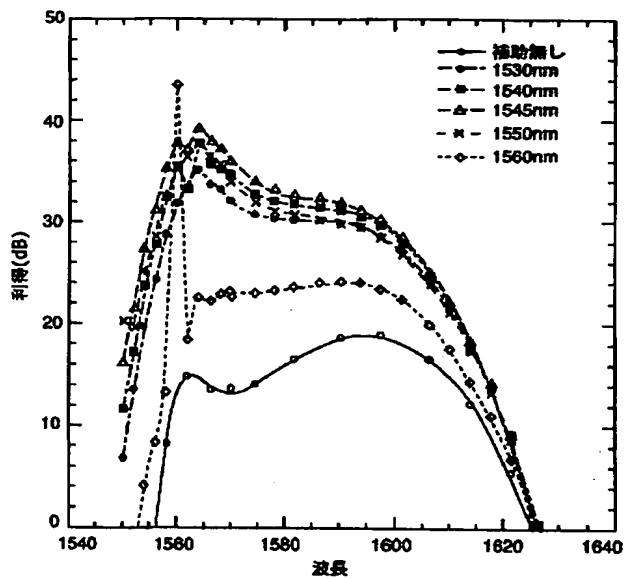
【図 4】



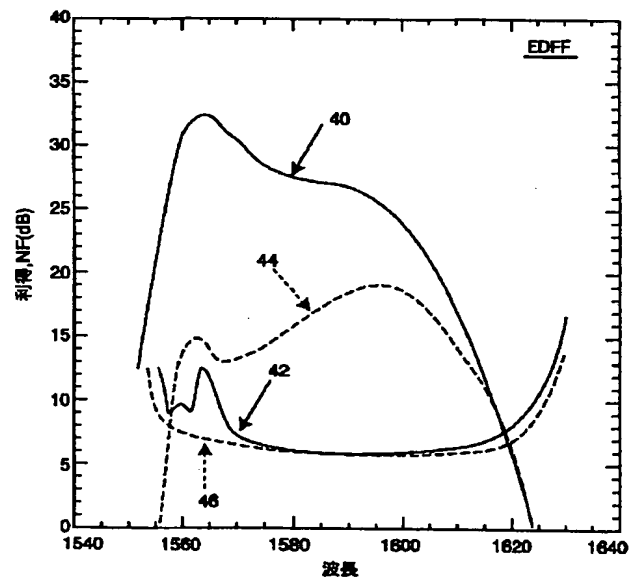
【図 5】



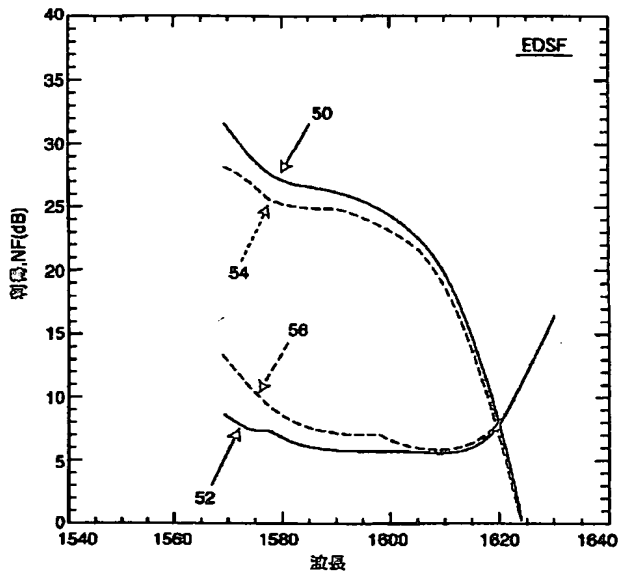
【図 6】



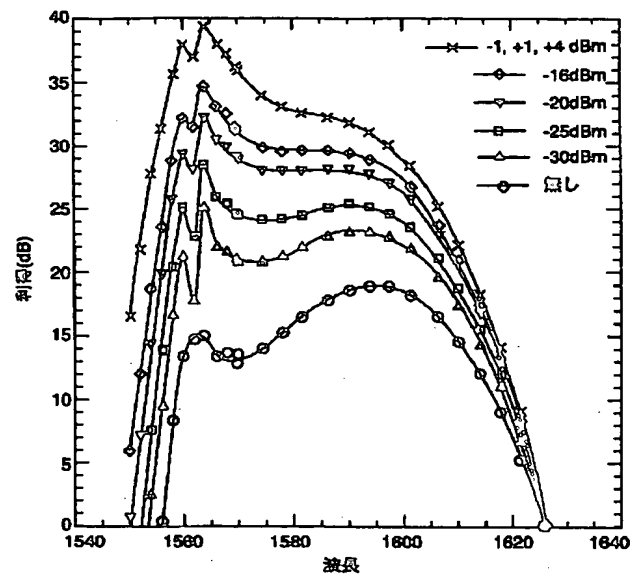
【図 7】



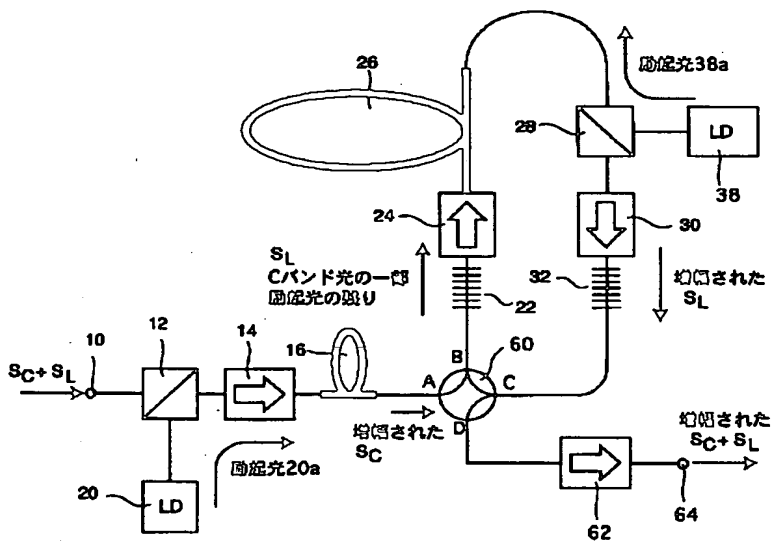
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>

H 0 4 B 10/18

識別記号

F I

テーマコード\* (参考)

(72) 発明者 須藤 智美

埼玉県上福岡市大原2丁目1番15号株式会社  
ケイディファイラボ内

(72) 発明者 野田 行雄

埼玉県上福岡市大原2丁目1番15号株式会社  
ケイディファイラボ内

(14)

特開 2002-319726

(72)発明者 三村 榮紀

埼玉県上福岡市大原2丁目1番15号株式会  
社ケイディディファイラボ内

Fターム(参考) 5F072 AB09 AK06 JJ02 KK07 KK30  
PP07 RR01 YY17  
5K002 BA00 BA05 BA13 BA21 CA13  
DA02 FA01